

УДК 621.311

И.М. Валеев<sup>1</sup>, Т.А. Мусаев<sup>2</sup>**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**Казанский государственный энергетический университет», Казань<sup>1</sup>,  
ОАО «Сетевая компания», Казань<sup>2</sup>

Предлагается подход к оценке внедрения технологии работ под напряжением на показатели эффективности предприятия электрических сетей.

*Ключевые слова:* оценка, работы под напряжением, показатели надёжности электроснабжения.

Известно, что одной из важнейших задач управления современных предприятий является обеспечение устойчивости его работы в условиях постоянного роста стоимости топливно-энергетических ресурсов и неустойчивости рынка сбытов [1, 4, 5].

Необходимо также отметить, что современная мировая тенденция развития электроэнергетики в целом обуславливает оценку деятельности электросетевых предприятий через определение показателей надёжности электроснабжения. Показатели надёжности электроснабжения, в свою очередь, определяют качество услуг, оказываемых электросетевыми организациями, в частности надёжность и бесперебойность обеспечения потребителей электроэнергией. Значения показателей позволяют оценить уровень развития территориального электросетевого комплекса, выявить «узкие» места, провести прогноз дальнейшего развития организации и т.д.

Современные технологические процессы, бытовые приборы, микропроцессорная техника характеризуются высокой чувствительностью к перерывам в электроснабжении, избежать которых возможно, в том числе и путём оптимизации режима работы системы электроснабжения городского района [6]. Однако на сегодняшний день одним из перспективных технологических направлений, призванным сократить перерывы электроснабжения потребителей, является проведение работ под напряжением (РПН).

Как показывает опыт зарубежных стран, предлагаемая методика проведения работ способствует повышению устойчивости работы электроустановок, улучшению условий эксплуатации электрооборудования.

В качестве рисков проведения РПН необходимо отметить:

- опасность для нормальной работы электроустановок и для обслуживающего персонала;
- повышение вероятности возникновения аварийных ситуаций;
- возникновение различных нештатных ситуаций, в процессе эксплуатации электрооборудования (с течением времени снижается электрическая характеристика изоляции, изнашиваются токоведущие части, обмотки и подшипники электрических машин, отдельные механические детали). В результате этого, а также из-за заводских дефектов, неправильных действий персонала, загрязнения, неблагоприятных атмосферных условий и других причин происходит износ и повреждение электрооборудования.

Однако, несмотря на существующие риски, внедрение РПН на различных классах напряжения – один из приоритетных направлений в мировой энергетике.

Несмотря на явные преимущества внедрения технологии РПН, для подтверждения целесообразности метода необходимо провести оценку влияния данного типа работ на условия работы потребителей. Оценка потенциала влияния работ под напряжением на показатели устойчивости и экономической эффективности, надёжности электроснабжения потребителей может быть осуществлена через рассмотрение величины сокращения «недоотпуска» электроэнергии при воздействии РПН.

Такой подход был реализован в данной статье, а именно, осуществлен поиск методов оценки влияния РПН на указанные показатели, что делает предлагаемую работу своевременной и актуальной.

### 1. Оценка величины сокращения недоотпуска электроэнергии при проведении работ под напряжением

Во исполнение приказа Министерства энергетики Российской Федерации от 29 ноября 2016 г. № 1256 «Об утверждении Методических указаний по расчёту уровня надёжности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций» [2], предприятиями электрических сетей должен вестись расчёт следующих показателей надёжности электроснабжения:

- показатель продолжительности отключений в результате технологических нарушений  $\Pi^{ag} saidi$ ;
- показатель частоты отключений, в результате технологических нарушений  $\Pi^{ag} saifi$ .

Дополнительно, некоторыми территориально-сетевыми организациями проводится расчёт следующего типа показателей:

- показатель продолжительности отключений в результате плановых отключений  $\Pi^{pl} saidi$ ;
- показатель частоты отключений, в результате плановых отключений  $\Pi^{pl} saifi$ .

При этом устанавливаются требования по заполнению таблицы специальной формы, содержащей основные сведения об отключениях [2]:

- время возникновения технологического нарушения;
- время восстановления электроснабжения потребителей;
- количество отключенных потребителей;
- суммарный недоотпуск электроэнергии в результате технологического нарушения и т.д.

Следует отметить, в настоящее время на практике сведения о количестве суммарного "недоотпуска" электроэнергии в результате отключений, вызванных проведением ремонтных работ, в основном ограничены или вообще отсутствуют. При этом оценку потенциала внедрения РПН возможно осуществить только при наличии показателей электроэнергии. Таким образом, задача сводится к определению суммарного недоотпуска электроэнергии в результате отключений, вызванных проведением ремонтных работ.

Учитывая имеющиеся сведения о недоотпуске электроэнергии возможно проведение приблизительной оценки влияния внедрения РПН на этот показатель. Условно считаем, что при проведении РПН отключение потребителей не происходит.

Общий подход и алгоритм решения данной задачи по оценке сокращения недоотпуска электроэнергии при проведении работ под напряжением заключается в выявлении величины недоотпуска электроэнергии по причине плановых и аварийных отключений. Далее, полученные значения всех потерь преобразуются в стоимость, в соответствии на единицу тарифа. Далее алгоритм проведения оценки включает вычисление объема недоотпуска электрической энергии, используя данные, содержащие информацию по недоотпуску отдельных инцидентов.

Недоотпуск плановых отключений может быть определен через пропорциональную зависимость между показателями отключения: значение показателя надёжности электроснабжения  $SAIDI$ , общим количеством отключений, количеством отключённых потребителей, суммарным временем отключения потребителей.

*Показатель надёжности электроснабжения SAIDI:*

$$\Pi_{SAIDI}^{n-1} = \frac{\Pi_{SAIDI}^{III, n-1}}{\Pi_{SAIDI}^{AB, n-1}}, \quad (1)$$

$$\Pi_{SAIDI}^n = \frac{\Pi_{SAIDI}^{III,n}}{\Pi_{SAIDI}^{AB,n}}, \quad (2)$$

$$\Pi_{CP} = \frac{\Pi_{SAIDI}^n + \Pi_{SAIDI}^{n-1}}{2}, \quad (3)$$

где  $\Pi_1^{n-1}$  - отношение показателей SAIDI по плановым и аварийным отключениям за предыдущий период (год);  $\Pi_{SAIDI}^{III,n-1}$  - показатель SAIDI по плановым отключениям за предыдущий период (год);  $\Pi_{SAIDI}^{AB,n-1}$  - показатель SAIDI по аварийным отключениям за предыдущий период (год);  $\Pi_1^n$  - отношение показателей SAIDI по плановым и аварийным отключениям за текущий период (год);  $\Pi_{SAIDI}^{III}$  - показатель SAIDI по плановым отключениям за текущий период (год);  $\Pi_{SAIDI}^{AB,n-1}$  - показатель SAIDI по аварийным отключениям за текущий период (год);  $\Pi_{CP}$  - среднее значение показателя.

Таким образом, определяется соотношение между параметрами плановых и аварийных отключений.

Для детализации разницы, необходимо рассмотреть параметры, влияющие на выявленное соотношение:

- *общее количество отключений k:*

$$k^{n-1} = \frac{k_{III}^{n-1}}{k_{AB}^{n-1}}, \quad (4)$$

$$k^n = \frac{k_{III}^n}{k_{AB}^n}, \quad (5)$$

$$k_{CP} = \frac{k_1^{n-1} + k_1^n}{2}, \quad (6)$$

где  $k^{n-1}$  - отношение количества отключений, вызванных проведением ремонтных работ к количеству отключений из-за технологических нарушений, за предыдущий период (год);  $k_{III}^{n-1}$  - количество отключений, вызванных проведением ремонтных работ за предыдущий период (год);  $k_{AB}^{n-1}$  - количество отключений, вызванных технологическими нарушениями за предыдущий период (год);  $k^n$  - отношение количества отключений, вызванных проведением ремонтных работ, к количеству отключений из-за технологических нарушений за текущий период (год);  $k_{III}^n$  - количество отключений, вызванных проведением ремонтных работ за предыдущий период (год);  $k_{AB}^n$  - количество отключений, вызванных технологическими нарушениями за предыдущий период (год);

- *общее количество отключенных потребителей Ni:*

$$N_i^{n-1} = \frac{N_{i,III}^{n-1}}{N_{i,AB}^{n-1}}, \quad (7)$$

$$N_i^n = \frac{N_{i,III}^n}{N_{i,AB}^n}, \quad (8)$$

$$N_{i,CP} = \frac{N_i^{n-1} + N_i^n}{2}, \quad (9)$$

где  $N_i^{n-1}$  - отношение количества отключенных потребителей в результате проведения ремонтных работ к количеству потребителей, отключенных в результате технологического нарушения, за предыдущий период (год);  $N_{i,III}^{n-1}$  - количество отключенных потребителей в

результате проведения ремонтных работ в предыдущем периоде (год);  $N_{i,AB}^{n-1}$  - количество потребителей, отключенных в результате технологического нарушения в предыдущем периоде (год);  $N_{i,ПЛ}^n$  - количество отключенных потребителей в результате проведения ремонтных работ в текущем периоде (год);  $N_{i,AB}^n$  - количество потребителей, отключенных в результате технологического нарушения в текущем периоде (год).

- суммарное время отключения  $T_i$ :

$$T_i^{n-1} = \frac{T_{i,ПЛ}^{n-1}}{T_{i,AB}^{n-1}}, \quad (10)$$

$$T_i^n = \frac{T_{i,ПЛ}^n}{T_{i,AB}^n}, \quad (11)$$

$$T_{i,CP} = \frac{T_i^{n-1} + T_i^n}{2}, \quad (12)$$

где  $T_i^{n-1}$  - отношение суммарного времени прекращения электроснабжения в результате проведения ремонтных работ к суммарному времени прекращения электроснабжения в результате технологического нарушения за предыдущий период (год);  $T_{i,ПЛ}^{n-1}$  - суммарное время прекращения электроснабжения в результате проведения ремонтных работ за предыдущий период (год);  $T_{i,AB}^{n-1}$  - суммарное время прекращения электроснабжения в результате технологического нарушения за предыдущий период (год);  $T_i^n$  - отношение суммарного времени прекращения электроснабжения в результате проведения ремонтных работ к суммарному времени прекращения электроснабжения в результате технологического нарушения за текущий период (год);  $T_{i,ПЛ}^n$  - суммарное время прекращения электроснабжения в результате проведения ремонтных работ за текущий период (год);  $T_{i,AB}^n$  - суммарное время прекращения электроснабжения в результате технологического нарушения за текущий период (год);

Основываясь на средних значениях параметров, которые оказывают влияние на степень соотношения величины плановых и аварийных отключений, необходимо выявить параметр, характеризующий степень взаимосвязанности характеристик плановых и аварийных ситуаций  $\xi$ :

$$\xi = \frac{\Pi_{CP} + k_{CP} + N_{i,CP} + T_{i,CP}}{4}. \quad (13)$$

Полученный коэффициент целесообразно использовать для связи параметров плановых и аварийных отключений.

Для оценки степени влияния параметров на выявленный коэффициент предлагается определить вес каждого критерия  $p$ ,

- вес соотношения показателей SAIDI

$$p_{\Pi} = \frac{\Pi_{CP}}{4 \cdot \xi}; \quad (14)$$

- вес количества отключений

$$p_k = \frac{k_{CP}}{4 \cdot \xi}; \quad (15)$$

- вес количества отключенных потребителей

$$p_{Ni} = \frac{N_i}{4 \cdot \xi}; \quad (16)$$

- вес суммарного времени отключения

$$p_{Ti} = \frac{T_i}{4 \cdot \xi}. \quad (17)$$

На основе полученных значений определяется параметр, который имеет наибольшее влияние на коэффициент соотношения показателей плановых и аварийных отключений.

## 2. Практическое применение результатов

Для практического применения полученных формул проведена оценка потенциала внедрения РПН на показатели эффективности и надежности электроснабжения потребителей. Все исходные данные условны и призваны продемонстрировать работоспособность предлагаемого подхода. Для проведения расчётов использованы исходные данные, представленные в табл. 1.

**Таблица 1**  
Исходные данные показателей надёжности электроснабжения для проведения расчётов

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	$\Pi_{SAIDI}^{ПЛ,2016}$	3
2	$\Pi_{SAIDI}^{ПЛ,2017}$	17
3	$\Pi_{SAIDI}^{AB,2016}$	2
4	$\Pi_{SAIDI}^{AB,2017}$	15
5	$k_{ПЛ}^{2016}$	220 000
6	$k_{ПЛ}^{2017}$	30 000
7	$k_{AB}^{2016}$	5 500
8	$k_{AB}^{2017}$	4 400
9	$N_{i,ПЛ}^{2016}$	3 900 000
10	$N_{i,ПЛ}^{2017}$	4 030 000
11	$N_{i,AB}^{2016}$	3 500 000
12	$N_{i,AB}^{2017}$	1 980 000
13	$T_{i,ПЛ}^{2016}$	83 000
14	$T_{i,ПЛ}^{2017}$	105 000
15	$T_{i,AB}^{2016}$	5 700
16	$T_{i,AB}^{2017}$	5 900

Используя формулы (1)–(17), получены искомые значения, которые сведены в табл. 2.

**Таблица 2**  
Полученные результаты

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	2	3
1	$\Pi_{SAIDI}^{2016}$	1,35
2	$\Pi_{SAIDI}^{2017}$	1,13

Окончание табл. 2

1	2	3
3	$P_{CP}$	1,24
5	$k^{2016}$	40
6	$k^{2017}$	6,82
7	$k_{CP}$	23,41
9	$N_i^{2016}$	1,11
10	$N_i^{2017}$	2,04
11	$N_{i,CP}$	1,58
13	$T_i^{2016}$	14,56
14	$T_i^{2017}$	17,8
15	$T_{i,CP}$	16,18
16	$\xi$	10,6
17	$P_{\Pi}$	3,29
18	$P_k$	19,26
19	$P_{Ni}$	7,58
20	$P_{Ti}$	30,67

Получив коэффициент взаимосвязи  $\xi$ , а также учитывая, что значения по недоотпуску электроэнергии в результате технологического нарушения заранее известны, получим соотношение недоотпуска и стоимости (рис. 1).

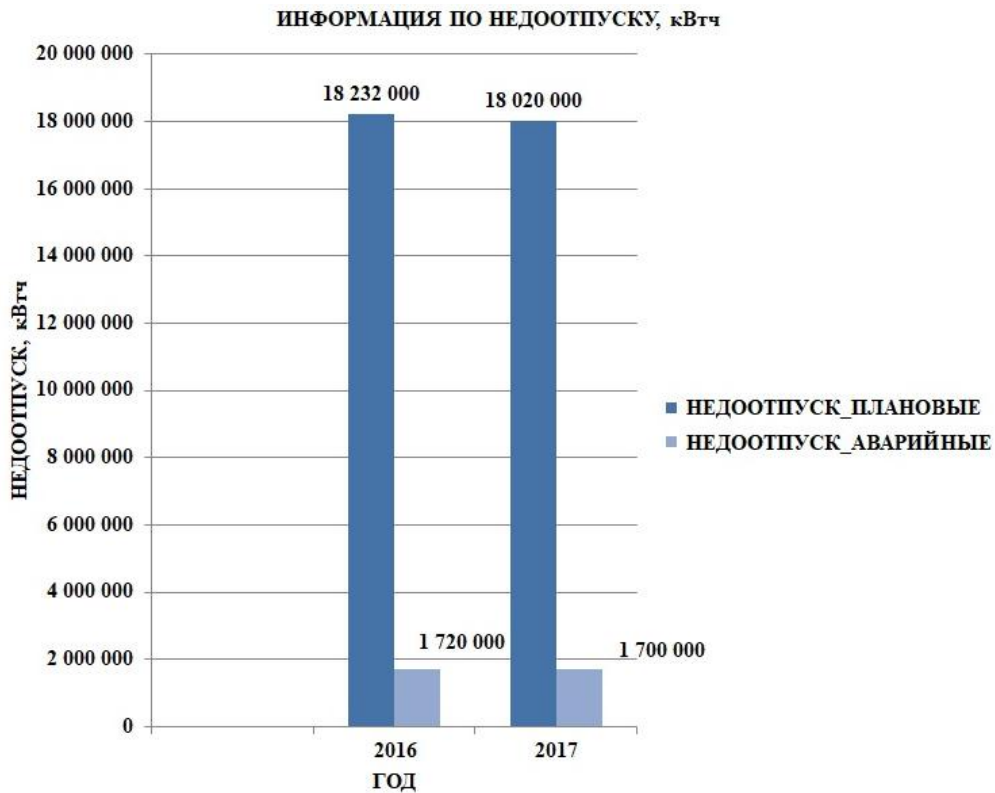
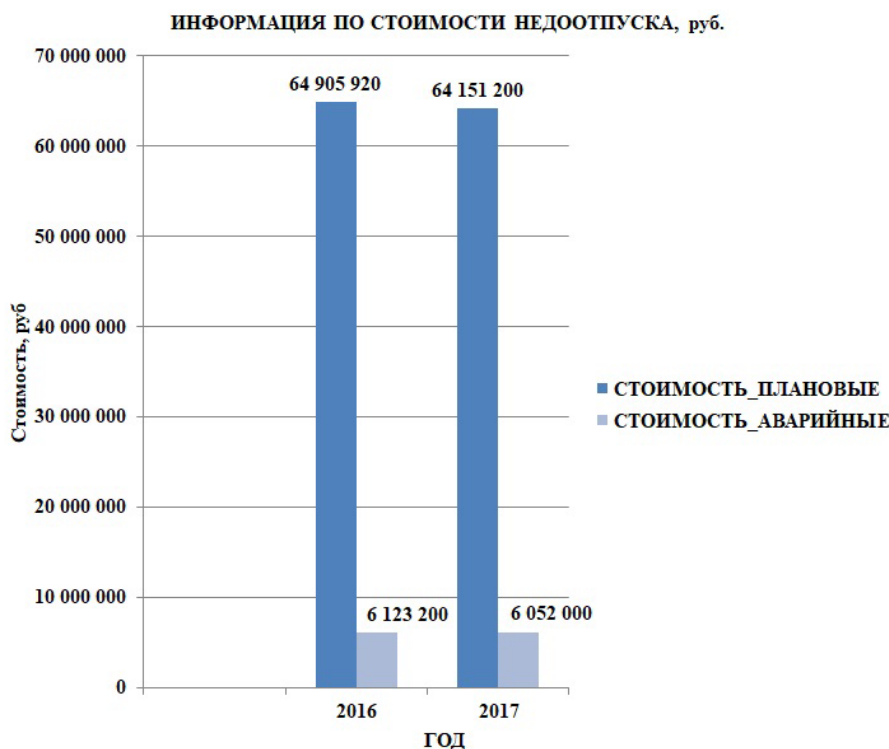


Рис. 1. Информация по недоотпуску электроэнергии



**Рис. 2. Информация по стоимости недоотпуска электроэнергии**

Рисунки демонстрируют, что потенциал эффективности внедрения работ под напряжением для приведённых исходных данных составляет около 65 млн руб. в год – данный эффект достижим лишь при условии полного проведения всех плановых работ под напряжением (не всегда допустимо на практике). Однако, обладая информацией о показателях отключений (длительности, количестве отключенных потребителей и т.д.), персонал предприятий электрических сетей может провести конкретную оценку потенциала внедрения РПН по изложенному в статье подходу.

### Выводы

По результатам проведённой работы можно сделать следующие выводы:

- внедрение технологии РПН обладает существенным потенциалом для повышения показателей эффективности и надежности электроснабжения потребителей;
- исходя из базовой информации об отключениях, содержащейся в таблице, обязательной к заполнению ПЭС [2], возможно вычисление дополнительных показателей (формулы (1-17)), на основании которых можно провести оценку эффективности внедрения технологии РПН.

Таким образом, разработан подход, позволяющий оценить эффективность внедрения технологии работ под напряжением в условиях действующей системы электроснабжения в части экономических показателей.

### Библиографический список

1. **Грунтович, Н.В.** Совершенствование систем управления энергетической эффективностью и экономической безопасностью промышленных предприятий / Н.В. Грунтович [и др.] // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 3. – С. 40–48.
2. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 29 ноября 2016 г. №1256 «Об утверждении Методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций». [Электронный ресурс] URL:<https://minjust.consultant.ru/documents/21986>

3. Приказ Федеральной службы по тарифам от 24 декабря 2014 г. № -э "Об утверждении методических указаний по учету степени загрузки объектов электросетевого хозяйства при формировании тарифов и (или) их предельных минимальных и (или) максимальных уровней на услуги по передаче электрической энергии". [Электронный ресурс] URL:<http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70777972/>
4. **Федоров, О.В.** Энергосберегающая политика: учеб. пособие / О.В. Федоров, А.Б. Дарьенков. – М.: КноРус, 2015. – 294 с.
5. **Голубцов, Н.В.** Проблема эффективности использования энергоресурсов / Н.В. Голубцов, Л.Г.Ефремов, О.В. Федоров // Вестник Чувашского университета. – 2014. – № 2. – С. 18–22.
6. **Мусаев, Т.А.** Повышение эффективности методов управления режимом работы системы электроснабжения городского района напряжением 6(10 кВ: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Чуваш.гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. – Чебоксары. –2015. – 20 с.

*Дата поступления  
в редакцию 01.07.2018*

**I.M. Valeev<sup>1</sup>, T.A. Musaev<sup>2</sup>**

## **EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY IMPLEMENTATION OF UNDER VOLTAGE WORKS ON THE ELECTRIC NETWORKS ENTERPRISES**

Kazan State Power Engineering University, Kazan<sup>1</sup>,  
JSC "Grid Company", Kazan<sup>2</sup>

**Purpose:** asearch for ways to assess the potential impact of work under voltage on the indicators of economic efficiency.

**Design/methodology/approach:** calculation of additional indicators of economic efficiency on the basis of known values of indicators of reliability of electricity supply.

**Findings:** Indicators that allow to estimate the economic efficiency of implementing the technology of under voltage work.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the in the field of power supply reliability.

**Originality/value:** Introduction of the technology of under voltage work has a significant potential for increasing the indicators of economic efficiency and reliability of electricity supply to consumers, based on the information on outages, it is possible to calculate additional indicators, which it is possible to assess the effectiveness of the introduction of the technology under voltage work.

*Key words:* evaluation, under voltage work, indicators of reliability of electricity supply.